

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Hiroshi OGIWARA, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: November 3, 2003

Examiner:

For: OPTICAL AMPLIFYING APPARATUS

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2002-321075

Filed: November 5, 2002

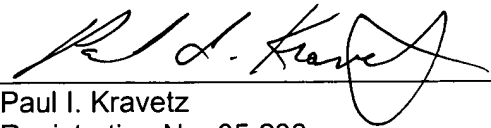
It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: November 3, 2003

By:


Paul I. Kravetz
Registration No. 35,230

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 1 月 5 日
Date of Application:

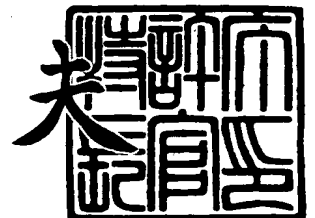
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 2 1 0 7 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 3 2 1 0 7 5]

出 願 人 富 士 通 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 2 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 0 3 8 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251330

【提出日】 平成14年11月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/35 501
H01S 3/10
H01S 3/30

【発明の名称】 光増幅装置

【請求項の数】 5

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
【氏名】 荻原 裕史

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
【氏名】 太田 研二

【特許出願人】
【識別番号】 000005223
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】
【識別番号】 100092978
【弁理士】
【氏名又は名称】 真田 有
【電話番号】 0422-21-4222

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 007696
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704824

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 異なる波長の励起光を生成する複数の励起光源と、

該励起光源からの各励起光を受けて主信号光を該励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、

該ラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、

上記の各励起光のうち特定波長の励起光の一部又は全部を該希土類添加光増幅媒体の励起光として該希土類添加光増幅媒体へ導入する励起光導入手段とをそなえたことを特徴とする、光増幅装置。

【請求項 2】 異なる波長の励起光を生成する複数の後方励起光源と、

該後方励起光源で生成される各励起光のうち少なくともいずれかと同じ特定波長の励起光を生成する前方励起光源と、

該後方励起光源からの各励起光を一方から受けるとともに該前方励起光源からの励起光を他方から受けて主信号光を双方向からの励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、

該ラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、

該後方励起光源からの各励起光のうち該特定波長の励起光の一部又は全部を該希土類添加光増幅媒体の励起光として該希土類添加光増幅媒体へ導入するとともに、該前方励起光源からの少なくとも該特定波長の励起光を該希土類添加光増幅媒体の励起光として透過する励起光導入手段とをそなえたことを特徴とする、光増幅装置。

【請求項 3】 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに、残りを該ラマン増幅媒体へ透過する反射型ファイバグレーティングにより構成されたことを特徴とする、請求項 1 記載の光増幅装置。

【請求項 4】 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増

幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ、残りを該ラマン増幅媒体へ分岐する光カップラにより構成されたことを特徴とする、請求項1記載の光増幅装置。

【請求項5】 該励起光源が、該励起光に送信すべき監視制御情報に応じた強度変調を施すように構成されたことを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光増幅装置に関し、特に、ラマン増幅を行なう光中継器に用いて好適な光増幅装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、情報通信量の増加に伴って、大容量、低コストの光ファイバ通信システムの開発が活発である。大容量化に対しては、複数の波長の光信号をチャンネル信号として多重して伝送する波長多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）伝送方式が研究/開発されており、低コスト化に対しては、端局（光信号をいったん電気信号に変換し、再び光信号を再生する局）から端局までの距離をできる限り長くする長距離システムが求められている。

【0003】

ここで、後者において、端局間距離をできる限り長くするためには、中継器に設置された光増幅器で発生する光雑音レベルを、いかに低く抑えるかという点が重要である。この点に対して、近年、分布型ラマン増幅器（DRA：Distributed Raman Amplifier）が注目を集め、実システムへの導入が図られつつある。

従来まで、光信号は、中継器における希土類〔特に、エルビウム（Er）〕添加光ファイバ増幅器（EDFA：Erbium Doped Fiber Amplifier）によって集中的に増幅されていたが、EDFAは高利得での増幅が可能な反面、雑音の発生量が比較的多く、これがシステム全体の伝送距離を制限する要因の一つとなっていた。即ち、光受信端局にて長距離伝送されてきた光信号を十分なレベル（パワー

)で受信できたとしても、その受信光信号の品質を表す光SN比(OSNR: Optical Signal to Noise Ratio)が悪いために正常に信号を復調できないという現象が発生するのである。

【0004】

そこで、このような現象を回避するために、中継器の光増幅器構成(以下、アンプ構成ともいう)として、例えば、EDFAの直前にDRA(例えば、下記特許文献1参照)を配置し、このDRAにて光伝送路(光ファイバ)による伝送損失の一部を補償した上で、EDFAにて集中的に光信号の増幅を行なう方法が用いられるようになってきたのである。

【0005】

このアンプ構成の利点は、DRAが光伝送路を利用して分布的に光信号を増幅する分布増幅型の光増幅器であるため、利得はEDFAに比べて小さいものの、EDFAよりも低雑音での増幅が可能であることから、EDFAのみで構成されたシステムに比してOSNRの改善効果が期待できることである。

ここで、図10にDRAを用いた中継器(以下、ラマン増幅中継器ともいう)の一般的な構成を示す。この図10に示すラマン増幅中継器は、複数波長(ここでは、2波長)の励起光源(LD: Laser Diode)600, 700を有しており、これらの励起光源600, 700から送出された各波長の光信号が合成器(偏波合成器又は波長合成器)800で合成された後、WDMカプラ200により光伝送路100へ、主信号光の伝送方向とは逆方向に送出(後方励起)されるようになっている。

【0006】

なお、この図10において、300は一方向(主信号光伝送方向)にしか光を透過しないアイソレータ、400は中継器出力のパワーモニタのために主信号光の一部を分岐するパワーモニタ用カプラ、500はこのカプラ400で分岐された光出力を受光してそのパワーに応じた電気信号を生成するパワーモニタ用フォトダイオード(PD: Photo Diode)をそれぞれ示す。

【0007】

上述のごとく構成されたラマン増幅中継器では、例えば、一方の励起光源60

0 の励起光波長が1440nm、他方の励起光源 7 0 0 の励起光波長が1480nmであるとすると、光伝送路 1 0 0 において励起光波長1440nm, 1480nmからそれぞれ長波長側に約100nm離れた波長1540nm, 1580 n m付近を中心にラマン増幅を生じさせて、主信号光の増幅を行なうことができる。

【0 0 0 8】

なお、上記 2 波長の励起光パワーの比率は一般に 3 : 2 ~ 4 : 1 程度に設定される(ただし、励起光波長及びパワーはシステム、ケーブル種類等により異なる)。このように励起光パワーの比率が異なる理由としては、主に以下の 2 つが挙げられる。

(1) ケーブル損失の波長依存性 (短波長側ほど損失が大きい)

(2) 励起光間のラマン増幅 (短波長側の励起光により長波長側の励起光が増幅される)

また、パワーモニタ用 P D 5 0 0 で得られた光出力パワー (電気信号) に基づいて必要な監視制御情報 (障害情報や上流側への励起光パワー制御情報等) を主信号光に変調をかけることで他ノード (中継器や端局) へ送信することができる。なお、図 1 0 では図示していないが、通常、光中継器は上り回線と下り回線とで対称な構造 (伝送系) を有しており (例えば、海底光通信システム)、上流側への監視制御情報の送信は、他方の伝送系を利用して行なわれる。

【0 0 0 9】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 1 - 1 1 7 1 2 6 号公報

【0 0 1 0】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、ラマン増幅器の利得は、光入力パワーの変動に対し光出力パワーも同様に変動するという特性をもっている。例えば、光入力パワーが 1 dB 低下した場合、光出力パワーは約 0.9 dB 低下する ($\Delta p_{out} / \Delta P_{in} \approx 0.9 \text{ dB/dB}$)。このため、従来のラマン増幅器では、例えば、励起光パワーを増加して光出力パワーを高めたり、上記特許文献 1 (主に、段落 [0 0 1 8] 及び [0 0 1 9]、図 1, 図 3, 図 5 参照) により提案されているように、後方励起構成における複数の励

起光をラマン増幅媒体である光ファイバ（以下、ラマンファイバという）の前段に介装した励起光反射器により主信号光の伝送方向と同じ方向へ一括反射させることで、ラマンファイバへの総合の入力励起光パワーを大きくして、ラマン増幅器の励起効率を高めたりする必要がある。

【0011】

また、光増幅器の上り回線及び下り回線で励起光源を共有する（冗長構成）海底通信システムにおいては、一方の回線のみの光出力パワーを制御することはできないため、他方の回線の光出力パワーまで同時に変動してしまい、光出力パワーの一定制御が難しい。

【0012】

かかる光出力パワー変動は、前述したようにラマン増幅器の後段にEDFAを配置することで、光中継器全体として低減することができるが、この場合は、当然ながら、EDFAに専用の励起光源がラマン増幅用の励起光源とは別途必要になるので、装置規模が増大する。

さらに、ラマン増幅器は光伝送路自体が増幅媒体であるため、中継器直近において光伝送路の破断等が発生すると、増幅媒体がなくなってしまう監視制御情報の送出が不可能になる。

【0013】

本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、従来よりも小型、低コストで、光出力パワーの変動を低減し、且つ、光入力パワーの有無によらずに監視制御情報の送出が容易な、光増幅装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明の光増幅装置（請求項1）は、異なる波長の励起光を生成する複数の励起光源と、これらの励起光源からの各励起光を受けて主信号光を該励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、このラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、上記の各励起光のうち特定波長の励起光の一部又は全部を上記希土類添加光増幅媒体の励起光として希土類添加光増幅媒体へ導入する励起

光導入手段とをそなえたことを特徴としている。

【0015】

また、本発明の光増幅装置（請求項2）は、異なる波長の励起光を生成する複数の後方励起光源と、これらの後方励起光源で生成される各励起光のうち少なくともいずれかと同じ特定波長の励起光を生成する前方励起光源と、上記後方励起光源からの各励起光を一方から受けるとともに上記前方励起光源からの励起光を他方から受けて主信号光を双方向からの励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、このラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、上記後方励起光源からの各励起光のうち上記特定波長の励起光の一部又は全部を希土類添加光増幅媒体の励起光としてその希土類添加光増幅媒体へ導入するとともに、上記前方励起光源からの少なくとも上記特定波長の励起光を上記希土類添加光増幅媒体の励起光として透過する励起光導入手段とをそなえたことを特徴としている。

【0016】

ここで、上記の励起光導入手段は、上記のラマン増幅媒体と希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに、残りをラマン増幅媒体へ透過する反射型ファイバグレーティングにより構成してもよい（請求項3）、上記のラマン増幅媒体と希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ、残りをラマン増幅媒体へ分岐する光カップラにより構成してもよい（請求項4）。

【0017】

なお、上記の励起光源は、励起光に送信すべき監視制御情報に応じた強度変調を施すように構成するのが好ましい（請求項5）。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

（A）第1実施形態の説明

図1は本発明の第1実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の

構成を示すブロック図である。この図 1 に示すラマン増幅中継器は、光伝送路 1 と、EDF 2 と、複数（ここでは 2 つ）の励起光源 3-1, 3-2 と、合成器 4 と、サーキュレータ 5 と、光伝送路 1 と EDF 2 との間に設けられた反射型ファイバグレーティング 6 と、EDF 2 の後段に設けられたアイソレータ 7 と、パワーモニタ用のカップラ 8 及びフォトダイオード（PD）9 とをそなえて構成されている。

【0019】

ここで、光伝送路 1 は、ラマン増幅の利得媒質（ラマン増幅媒体）である光ファイバ（以下、ラマンファイバ 1 と表記することがある）で、主信号光〔波長多重（WDM 光）〕を伝送するとともに、励起光源 3-1, 3-2 で生成された各励起光を受けて当該主信号光をそれらの励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するものである。

【0020】

また、EDF（希土類添加光増幅媒体）2 は、ラマンファイバ 1 によるラマン増幅後の主信号光をさらに増幅するためのもので、周知のように、希土類イオンとしてエルビウム（Er）イオンをファイバコアに添加（ドーピング）した光ファイバ増幅器（以下、EDFA 2 と表記することもある）である。なお、この増幅媒体 2 には、エルビウムイオン以外に、プラセオジウム（Pr）やツリウム（Tr）等の他のランタノイド系希土類イオンをファイバコアにドーピングしたものが用いられることもあるが、主信号光波長域が広帯域でしかも高利得、低損失であるという理由で、一般に WDM 伝送システムでは EDF が最も良く用いられる。

【0021】

また、励起光源（後方励起光源）3-1, 3-2 は、いずれもラマンファイバ 1 によるラマン増幅のための異なる波長の励起光を生成するレーザダイオード（LD）で、この場合も、例えば、励起光源 3-1 が波長 1440nm の励起光を生成し、励起光源 3-2 が波長 1480nm の励起光を生成するようになっている。ただし、勿論、これらの励起光波長の設定は適宜変更してよい。

【0022】

さらに、合成器（偏波合成器又は波長合成器）4 は、これらの励起光源 3-1

、3-2からの励起光を合波するものであり、サーキュレータ5は、ラマンファイバ1からの主信号光をEDFA2側へ通過するとともに、合成器4からの励起光をラマンファイバ1の後方から当該ラマンファイバ1へ（つまり、主信号光の伝送方向とは逆方向）へ導入するためのものである。なお、励起光源3-1、3-2への戻り光を防ぐために、この合成器4とサーキュレータ5との間にアイソレータを設けてもよい。

【0023】

また、アイソレータ7は、EDF2への戻り光を防止するために、主信号光を一方方向にのみ透過するものであり、パワーモニタ用カップラ8及びパワーモニタ用PD9は、それぞれ、図10により前述したものと同様のものである。

そして、反射型ファイバグレーティング（励起光導入手段）6は、波長選択性を有する反射型のファイバグレーティングで、ここでは、サーキュレータ5からの2波長の励起光のうち長波長側の励起光（1480nm）の一部を反射（残りの長波長側の励起光及び短波長側の励起光（1440nm）の全てはラマンファイバ1側へ通過）することで、その反射光がEDFA2の励起光としてEDFA2に導入されるようになっている。

【0024】

したがって、この反射型ファイバグレーティング6での長波長側の励起光の反射率を適正值に設定することで、ラマンファイバ1、EDF2の両増幅媒体において十分な利得を得ることができる。その反射率はおおよそ10～50%程度でよいが、システムにより最適値は異なる。

このような構成を採用することで、長波長側の励起光源3-2がラマンファイバ1及びEDF2のための励起光源として兼用されるため、EDF2に専用の励起光源が不要になる。なお、本例のように長波長側の励起光の一部を反射するのは、既に述べたように励起光間のラマン増幅（短波長側の励起光により長波長側の励起光が増幅される）現象により、一般に、短波長側の励起光パワーよりも長波長側の励起光パワーに十分な余裕があるからである。

【0025】

上述のごとく構成された本実施形態のラマン増幅中継器では、ラマンファイバ

1において、励起光源3-1及び3-2からの各励起光のうち反射型ファイバグレーティング6を透過してくる励起光、即ち、反射型ファイバグレーティング6で反射されなかった長波長側の励起光(1480nm)及び短波長側の励起光(1440nm)の全てにより主信号光がラマン増幅される。

【0026】

そして、ラマン増幅後の主信号光は、反射型ファイバグレーティング6及びサーキュレータ5を透過してEDF2に入力され、EDF2において、反射型ファイバグレーティング6で反射された長波長側の励起光(1480nm)を用いてさらに増幅される。

ここで、EDFA2は、光入力パワーの変動に対し、光出力パワーの変動が小さい。例えば、光入力パワーが1dB低下した場合、光出力パワーの低下は約0.1~0.3dBと小さく($\Delta P_{out}/\Delta P_{in} \div 0.1 \sim 0.3 \text{ dB/dB}$)、光入力パワーの変動分が圧縮される。したがって、本例のようにラマン増幅とEDFA2を併用した場合、例えば図2に実線Aで示すように、光入力パワーの変動に対する光出力パワーの変動は、ラマン増幅のみの場合(実線B参照)の30%以下となる。

【0027】

さて、このように反射型ファイバグレーティング6で励起光の一部を反射する構成を採ると、仮に反射型ファイバグレーティング6の前段側で断線等の伝送路障害が生じたとしても、EDF2には常に反射型ファイバグレーティング6の反射光(長波長側の励起光の一部)が入力されていることになる。

したがって、例えば、長波長側の励起光源3-2の駆動電流を強度変調することでEDFA2に入力される上記反射光に強度変調をかけることができるので、必要な監視制御情報に応じて励起光源3-2の励起光(即ち、駆動電流)に強度変調をかければ、ラマン増幅中継器への入力光(パワー)の有無に関わらず、必要な監視制御情報を下流側へ送信することが可能となる。

【0028】

以上まとめると、本実施形態のラマン増幅中継器によれば、次のような効果ないし利点を得られる。

(1)ラマン増幅とEDFA2を組み合わせることで光出力パワーの変動を抑え

ることができる。

(2) 反射型ファイバグレーティング 6 を用いることで、EDFA 2 専用の励起光源が不要になる（ラマン増幅中継器の小型化、低コスト化が可能）。

【0029】

(3) 反射型ファイバグレーティング 6 を用いることで、反射光の強度変調を用いて監視制御情報を容易に送出することができる。

(A1) 第1実施形態の変形例の説明

次に、図1により上述した基本構成を上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を図3に示す。即ち、この図3に示すように、本ラマン増幅中継は、一方の伝送系（以下、仮に、下り回線とする）として、光入力側から順にラマンファイバ1A、反射型ファイバグレーティング6A、サーキュレータ5A、EDF2A、アイソレータ7A、パワーモニタ用カプラ8A、パワーモニタ用PD9Aをそなえとともに、他方の伝送系（上り回線）として、同様に、ラマンファイバ1B、反射型ファイバグレーティング6B、サーキュレータ5B、EDF2B、アイソレータ7B、パワーモニタ用カプラ8B、パワーモニタ用PD9Bをそなえて構成されている。

【0030】

なお、これらのラマンファイバ1A、1B、反射型ファイバグレーティング6A、6B、サーキュレータ5A、5B、EDF2A、2B、アイソレータ7A、7B、パワーモニタ用カプラ8A、8B、パワーモニタ用PD9A、9Bは、それぞれ、既述のラマンファイバ1、反射型ファイバグレーティング6、サーキュレータ5、EDF2、アイソレータ7、パワーモニタ用カプラ8、パワーモニタ用PD9と同一もしくは同様のものである。

【0031】

また、図3において、点線Hは、パワーモニタ用カプラ8A及び8Bを通じて、上り回線から下り回線あるいは下り回線から上り回線へ監視制御情報等を折り返して送信できることを表している。

そして、本ラマン増幅中継器には、短波長側の励起光源として2つの励起光源3-1、3'-1、長波長側の励起光源として2つの励起光源3-2、3'-2

が設けられるとともに、偏波合成器 4 A 及び 4 B, 1 : 1 カプラ 10 が設けられている。

【0032】

ここで、上記の短波長側の励起光源 3-1, 3'-1 は、それぞれ同じ波長（例えば、1440nm）で互いに偏波面の互いに異なる励起光を生成するものであり、長波長側の励起光源 3-2, 3'-2 も、それぞれ同じ波長（例えば、1480nm）で互いに偏波面の互いに異なる励起光を生成するものである。つまり、本例では、短波長及び長波長側の励起光源をそれぞれ冗長構成とし、一方の励起光源が障害等で使用不能になったり出力パワーが低下したりすることによって励起光が消失してしまうことを防止しているのである。ただし、励起光源 3-1, 3-2 のみでも原理的には構わないことはいうまでもない（後述する図 7 及び図 8 においても同様）。

【0033】

また、短波長側の偏波合成器 4 A は、同じ短波長（1440nm）の各励起光を合成（偏波合成）するためのものであり、同様に、長波長側の偏波合成器 4 B は、同じ長波長（1480nm）の各励起光を合成（偏波合成）するためのものであり、1 : 1 カプラ 10 は、これらの偏波合成器 4 A, 4 B の出力を同じパワー比（1 : 1）に分岐してそれぞれサーキュレータ 5 A, 5 B に入力するためのものである。

【0034】

上述のごとく構成された本変形例のラマン増幅中継器では、この場合も、短波長及び長波長の各励起光（1440nm, 1480nm）が 1 : 1 カプラ 10 で同じパワー比で分岐されて下り回線及び上り回線の各サーキュレータ 5 A, 5 B に入力されて、それぞれラマンファイバ 1 A, 1 B 側へ導入されるとともに、長波長（1480nm）の励起光の一部がそれぞれ反射側ファイバグレーティング 6 A, 6 B で反射されて、EDF 2 A, 2 B の励起光として EDF 2 A, 2 B に導入される。

【0035】

したがって、上り回線及び下り回線の双方向の光通信について、上述した実施形態と同様の作用効果、即ち、光出力パワーの変動を抑えることができ、EDF A 2 専用の励起光源が不要で、且つ、入力光の有無に関わらず監視制御情報を容

易に送出することが可能となる。

(B) 第2実施形態の説明

次に、図4は本発明の第2実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の構成を示すブロック図で、この図4に示すラマン増幅中継器は、図1により前述したものとそれぞれ同様の光伝送路（ラマンファイバ）1、EDF2、励起光源3-1、3-2、合成器4、アイソレータ7、パワーモニタ用カプラ8及びパワーモニタ用PD9をそなえるとともに、図1に示すサーキュレータ5及び反射型ファイバグレーティング6の代わりに、WDM11aとカプラ11bとを組み合わせて成るハイブリッドカプラ11をそなえて構成されている。

【0036】

ここで、このハイブリッドカプラ11は、例えば図5に示すような波長依存性の分岐（スルー及びクロス）特性（図5中の実線Fがスルー特性、実線Gがクロス特性を示す）、即ち、カプラ11bの特性を短波長側の励起光波長（1440nm）で最適化（スルー率が略100%でクロス率が略0%）し、波長に応じて分岐比が変化する（図5では励起波長1480nmでスルー率が70%でクロス率30%）ような大きな波長依存性を有するように設計されている。なお、かかる分岐特性をもつ光デバイスであればカプラに限らず同様に適用できることはいうまでもない。

【0037】

これにより、長波長側の励起光源3-2の励起光（1480nm）の一部（図5の場合は30%）がカプラ11bでクロス（入力ポートと対角の出力ポートへ出力）してWDMカプラ11aに入力され、WDMカプラ11aによりEDF2へ伝送される主信号光に結合され（図4の実線矢印C参照）、残り（70%）の長波長側の励起光（1480nm）及び短波長側の励起光（1440nm）の全てはカプラ11bをスルーしてラマンファイバ1側へ導入されることになる（図4の点線矢印D、E参照）。

【0038】

つまり、この図4に示すラマン増幅中継器は、前述した反射型ファイバグレーティング6を用いずに、図1に示すものと同等の機能（励起光導入手段）をWD

Mカプラ11a及びカプラ11bのハイブリッドカプラ（光カプラ）11により実現しているのである。したがって、図1により前述したものと同様の作用効果が得られるほか、反射型ファイバグレーティング6及びサーキュレータ5を用いる場合に比して、よりコストを低減することができる。

【0039】

なお、本例では、短波長側の励起光波長（1440nm）における分岐比を100：1とした場合、長波長側の分岐比がおよそ10：1～1：1であれば、ラマンファイバ1，EDF2の両増幅媒体において十分な利得を得ることができる。

また、図1の構成では、サーキュレータ5により反射型ファイバグレーティング6への戻り光が防止されていたが、本構成においてはサーキュレータ5が不要なので、例えば図6に示すように、EDF2側にのみ主信号光を透過するアイソレータ12をハイブリッドカプラ11とEDF2との間に介装するのが好ましい。

【0040】

（B1）第2実施形態の変形例の説明

図7は図4に示す基本構成を上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を示す図、図8は図6に示す基本構成を上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を示す図である。

【0041】

即ち、図7及び図8に示すラマン増幅中継器は、図3により前述した構成において反射型ファイバグレーティング6A，6B及びサーキュレータ5A，5Bの代わりに、既述のWDMカプラ11a及びカプラ11bのハイブリッドカプラ11A，11Bを下り回線，上り回線の伝送系に適用して、図3により前述したラマン増幅中継器と同等の機能を実現したものである。ただし、図8に示す構成では、既述のアイソレータ12と同様の役割を下り回線，上り回線において果たすアイソレータ12A，12Bが設けられている点が図7に示す構成とは異なる。

【0042】

これにより、図7及び図8に示すラマン増幅中継器においても、図1，図3，

図4及び図6により前述したものと同様の作用効果が得られる。

(C) 第3実施形態の説明

次に、図9は本発明の第3実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の構成を示すブロック図で、この図9に示すラマン増幅中継器は、図1により前述した構成に比して、励起光源（前方励起光源）3-3，3-4，合成器4'，カプラ5'がさらに設けられ、各励起光源3-3，3-4で生成された各励起光が合成器4'，カプラ5'を通じてラマンファイバ1側へ導入されるようになっている点が異なる。なお、この図9において、既述の符号を付したものはいずれも特に断らない限り既述のものと同じもしくは同様のものである。

【0043】

ここで、上記の励起光源3-3は、短波長側の励起光（例えば、励起光源3-1と同じ波長1440nm）を生成するものであり、励起光源3-4は、長波長側の励起光（例えば、励起光源3-2と同じ波長1480nm）を生成するものであり、合成器（偏波合成器又は波長合成器）4'は、これらの励起光源3-3，3-4で生成された各励起光（1440nm，1480nm）を合波するものであり、カプラ5'は、この合成器4'の出力、即ち、励起光源3-3，3-4からの各励起光をラマンファイバ1へ伝送される主信号光に結合するためのものである。

【0044】

つまり、本ラマン増幅中継器は、異なる波長（1440nm，1480nm）の励起光を生成する複数の後方励起光源3-1，3-2と、異なる波長（1440nm，1480nm）の励起光を生成する複数の前方励起光源3-3，3-4と、後方励起光源3-1，3-2からの各励起光を一方（前方）から受けるとともに前方励起光源3-3，3-4からの各励起光を他方（後方）から受けて主信号光を双方向からの励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマンファイバ1と、このラマンファイバ1で増幅された主信号光を受けてさらに増幅するEDF2とをそなえていることになる。

【0045】

これにより、本ラマン増幅中継器では、ラマンファイバ1の前段（前方）及び後段（後方）の双方向から励起光（1440nm，1480nm）が入力されることになる。

そして、この場合も、ラマンファイバ1の後段では、図1に示すものと同様に、長波長側の励起光(1480nm)の一部が反射型ファイバグレーティング6で反射されてEDF2の励起光としてEDF2に導入される。一方、ラマンファイバ1の前方から入力される励起光(1440nm, 1480nm)は、ラマンファイバ1及び反射型ファイバグレーティング6を透過してEDF2の励起光としてEDF2に導入される。

【0046】

つまり、上記のカプラ5', サーキュレータ5及び反射型ファイバグレーティング6は、後方励起光源3-1, 3-2からの各励起光(1440nm, 1480nm)のうち長波長(1480nm)の励起光の一部をEDF2の励起光としてEDF2へ導入するとともに、前方励起光源3-3, 3-4からの励起光をEDF2の励起光として透過する励起光導入手段として機能している。

【0047】

したがって、後方励起のみの場合に比して、ラマン増幅の励起効率を大幅に向上することができるとともに、この場合は、前方からの各励起光(1440nm, 1480nm)と後方からの長波長側の励起光(反射光:1480nm)の両者のトータル励起光パワーでEDF2による主信号光の励起が行なわれることになるので、EDF2の励起効率をも大幅に向上することが可能である。

【0048】

なお、上述した双方向励起構成においても、サーキュレータ5及び反射型ファイバグレーティング6の代わりに、図4, 図6により前述したハイブリッドカプラ11を用いて同等の機能を実現することができ、また、図3, 図7, 図8により前述したように、上り回線, 下り回線による双方向光通信に適用することも可能である。

【0049】

さらに、上述した例では、後方励起光源3-1, 3-2と同じ数で同じ波長の励起光を生成する前方励起光源3-3, 3-4を設けているが、少なくともEDF2の励起光として活用する波長と同じ波長の励起光が含まれていれば、前方励起光源の数と後方励起光源の数は異なってもよい(前方励起光源の数は1つ

でもよい) し、他の波長は異なってもよい。

【0050】

(D) その他

本発明は、上述した実施形態に限定されず、上記以外にも本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

例えば、短波長側の励起光源のパワーに余裕があれば、短波長側の励起光の一部についても、反射又は分岐してEDFに導入するようにしてもよい。

【0051】

また、上述した各実施形態では、いずれも、ラマンファイバ1の後段において長波長側（あるいは短波長側でもよい）の励起光の一部を反射又は分岐してEDF2に導入するようになっているが、ラマンファイバ1の前段において各励起光（少なくとも光パワーに余裕の有る励起光）の全部を反射（つまり、反射率＝100%）又はラマンファイバ1へ伝送される主信号光に結合するようにしてもよい。

【0052】

また、上述した実施形態では、後方励起光の波長数を2としているが、勿論、3以上にしてもよく、この場合、反射又は分岐してEDF2へ導入する波長（特定波長）は長波長側の2波長以上とすることもできる。

(E) 付記

(付記1) 異なる波長の励起光を生成する複数の励起光源と、

該励起光源からの各励起光を受けて主信号光を該励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、

該ラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、

上記の各励起光のうち特定波長の励起光の一部又は全部を該希土類添加光増幅媒体の励起光として該希土類添加光増幅媒体へ導入する励起光導入手段とをそなえたことを特徴とする、光増幅装置。

【0053】

(付記2) 異なる波長の励起光を生成する複数の後方励起光源と、

該後方励起光源で生成される各励起光のうち少なくともいずれかと同じ特定波長の励起光を生成する前方励起光源と、

該後方励起光源からの各励起光を一方から受けるとともに該前方励起光源からの励起光を他方から受けて主信号光を双方向からの励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体と、

該ラマン増幅媒体で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体と、

該後方励起光源からの各励起光のうち該特定波長の励起光の一部又は全部を該希土類添加光増幅媒体の励起光として該希土類添加光増幅媒体へ導入するとともに、該前方励起光源からの少なくとも該特定波長の励起光を該希土類添加光増幅媒体の励起光として透過する励起光導入手段とをそなえたことを特徴とする、光増幅装置。

【0054】

(付記3) 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに、残りを該ラマン増幅媒体へ透過する反射型ファイバグレーティングにより構成されたことを特徴とする、付記1記載の光増幅装置。

(付記4) 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに残りを該ラマン増幅媒体へ透過し、且つ、該前方励起光源からの励起光を該希土類添加光増幅媒体へ透過する反射型ファイバグレーティングにより構成されたことを特徴とする、付記2記載の光増幅装置。

【0055】

(付記5) 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ、残りを該ラマン増幅媒体へ分岐する光カップラにより構成されたことを特徴とする、付記1記載の光増幅装置。

(付記6) 該励起光導入手段が、該ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に設けられ、該特定波長の励起光の一部を該希土類添加光増幅媒体へ、

残りを該ラマン増幅媒体へ分岐するとともに、該前方励起光源からの励起光を該希土類添加光増幅媒体へ透過する光カップラにより構成されたことを特徴とする、付記 2 記載の光増幅装置。

【0056】

(付記 7) 該励起光導入手段が、該特定波長の励起光として長波長側の励起光を該希土類添加光増幅媒体へ導入するように構成されたことを特徴とする、付記 1～6 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

(付記 8) 該励起光源が、該励起光に送信すべき監視制御情報に応じた強度変調を施すように構成されたことを特徴とする、付記 1～7 のいずれか 1 項に記載の光増幅装置。

【0057】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明の光増幅装置によれば、次のような効果ないし利点が得られる。

(1) ラマン増幅媒体のための複数波長の励起光の一部又は全部を後段の希土類添加光増幅媒体の励起光としてその希土類添加光増幅媒体へ導入するので、光出力パワーの変動を抑えることができ、希土類添加光増幅媒体に専用の励起光源が不要（光増幅装置の小型化、低コスト化が可能）で、且つ、入力光の有無に関わらず反射光の強度変調を用いて監視制御情報を容易に送出することができる。

【0058】

(2) また、ラマン増幅媒体の双方向励起構成において、後方励起光源からの複数の励起光のうち特定波長の励起光の一部又は全部を希土類添加光増幅媒体の励起光としてその希土類添加光増幅媒体へ導入するとともに、前方励起光源からの上記特定波長の励起光を希土類添加光増幅媒体の励起光として透過するので、上記と同様の利点が得られるほか、ラマン増幅媒体及び希土類添加光増幅媒体の双方の励起効率を大幅に向上することができる。

【0059】

(3) ここで、ラマン増幅媒体のための励起光の一部の希土類添加光増幅媒体への導入は、ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に反射型ファイバグ

レーティングを設けて、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに、残りをラマン増幅媒体へ透過することで容易に実現することができる。

【0060】

(4)また、双方向励起構成においても、ラマン増幅媒体と該希土類添加光増幅媒体との間に反射型ファイバグレーティングを設けて、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ反射するとともに残りをラマン増幅媒体へ透過し、且つ、前方励起光源からの励起光を希土類添加光増幅媒体へ透過するようにすることで容易に実現できる。

【0061】

(5)他には、ラマン増幅媒体と希土類添加光増幅媒体との間に光カップラを設けて、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ、残りをラマン増幅媒体へ分岐するようにしても同等の機能を実現でき、この場合は、反射型ファイバグレーティングを用いる場合に比して、より低コスト化を図ることができる。

(6)同様に、双方向励起構成においても、ラマン増幅媒体と希土類添加光増幅媒体との間に光カップラを設けて、上記特定波長の励起光の一部を希土類添加光増幅媒体へ、残りをラマン増幅媒体へ分岐するとともに、前方励起光源からの励起光を希土類添加光増幅媒体へ透過するようにすれば、上記と同様の機能を実現できる。

【0062】

(7)そして、希土類添加光増幅媒体の励起光として活用する上記特定波長の励起光としては、一般に励起光パワーに十分な余裕がある長波長側の励起光とすれば、ラマン増幅媒体及び希土類添加光増幅媒体の双方に必要な励起光パワーを十分に与えることができる。

(8)また、上記の励起光源を、励起光に送信すべき監視制御情報に応じた強度変調を施すように構成することで、簡単に、入力光の有無によらない監視制御情報の送出を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の構成を示すブロック図である。

【図2】

図1に示すラマン増幅中継器における光入力パワーの変動に対する光出力パワーの変動例を示す図である。

【図3】

図1に示す構成を基本構成として上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図4】

本発明の第2実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の構成を示すブロック図である。

【図5】

図4に示すハイブリッドカプラの波長依存性の分岐比の一例を示す図である。

【図6】

図4に示すラマン増幅中継器の変形例を示すブロック図である。

【図7】

図4に示す構成を基本構成として上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図8】

図6に示す構成を基本構成として上り回線及び下り回線の双方向のラマン増幅中継器の伝送系として適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図9】

本発明の第3実施形態に係るラマン増幅中継器（光増幅装置）の要部の構成を示すブロック図である。

【図10】

ラマン増幅中継器の一般的な構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

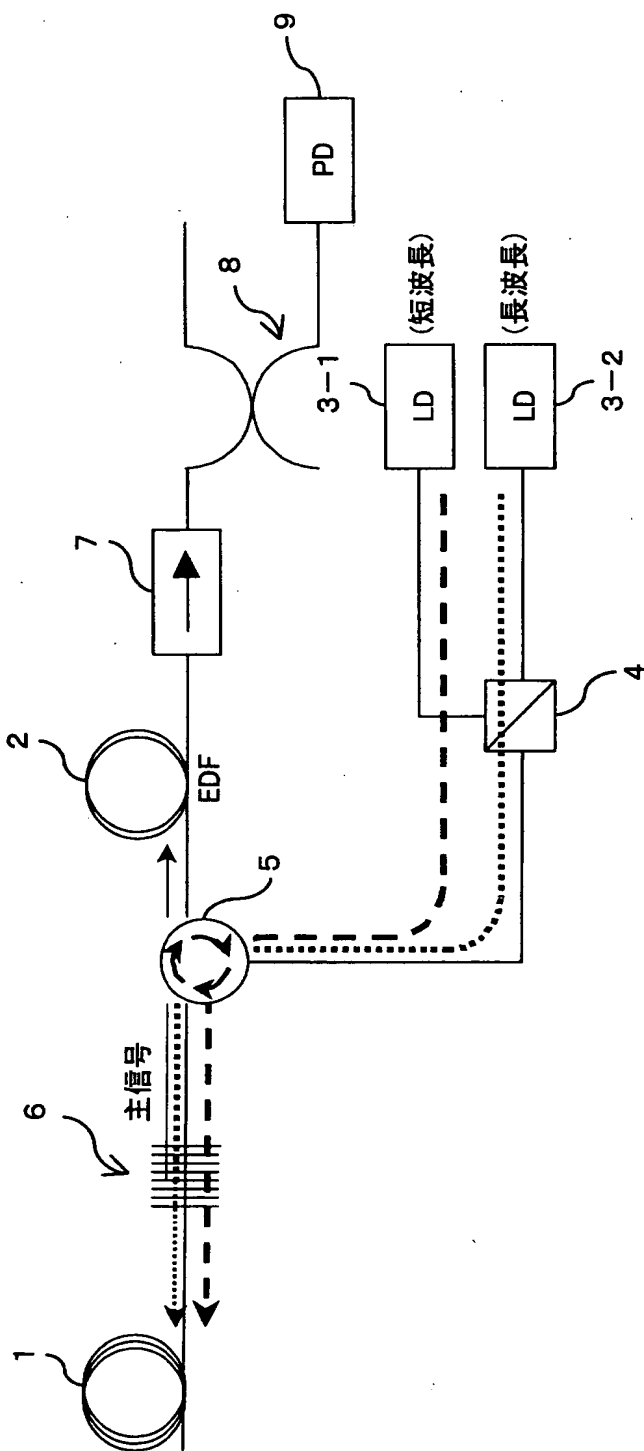
- 1, 1A, 1B 光伝送路（ラマン増幅媒体）
- 2, 2A, 2B EDF（希土類添加光増幅媒体）

- 3-1, 3'-1, 3-2, 3'-2 励起光源 (後方励起光源)
- 3-3, 3-4 励起光源 (前方励起光源)
- 4, 4' 合成器 (偏波合成器又は波長合成器)
- 4A, 4B 偏波合成器
- 5, 5A, 5B サーキュレータ
- 5' カプラ
- 6, 6A, 6B 反射型ファイバグレーティング (励起光導入手段)
- 7, 7A, 7B, 12, 12A, 12B アイソレータ
- 8, 8A, 8B パワーモニタ用カプラ
- 9, 9A, 9B パワーモニタ用フォトダイオード (PD)
- 10 1:1カプラ
- 11 ハイブリッドカプラ (光カプラ)
- 11a WDMカプラ
- 11b カプラ

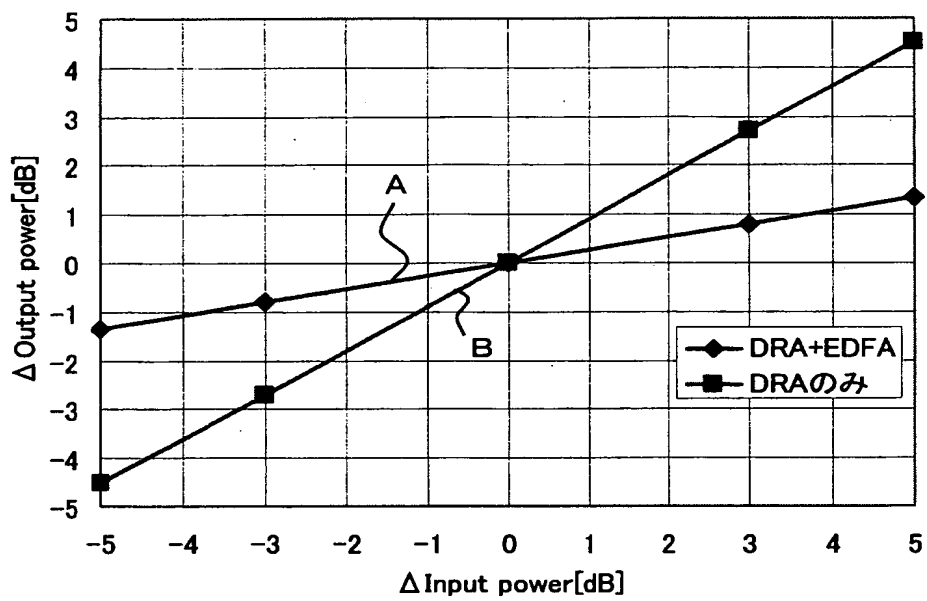
【書類名】

図面

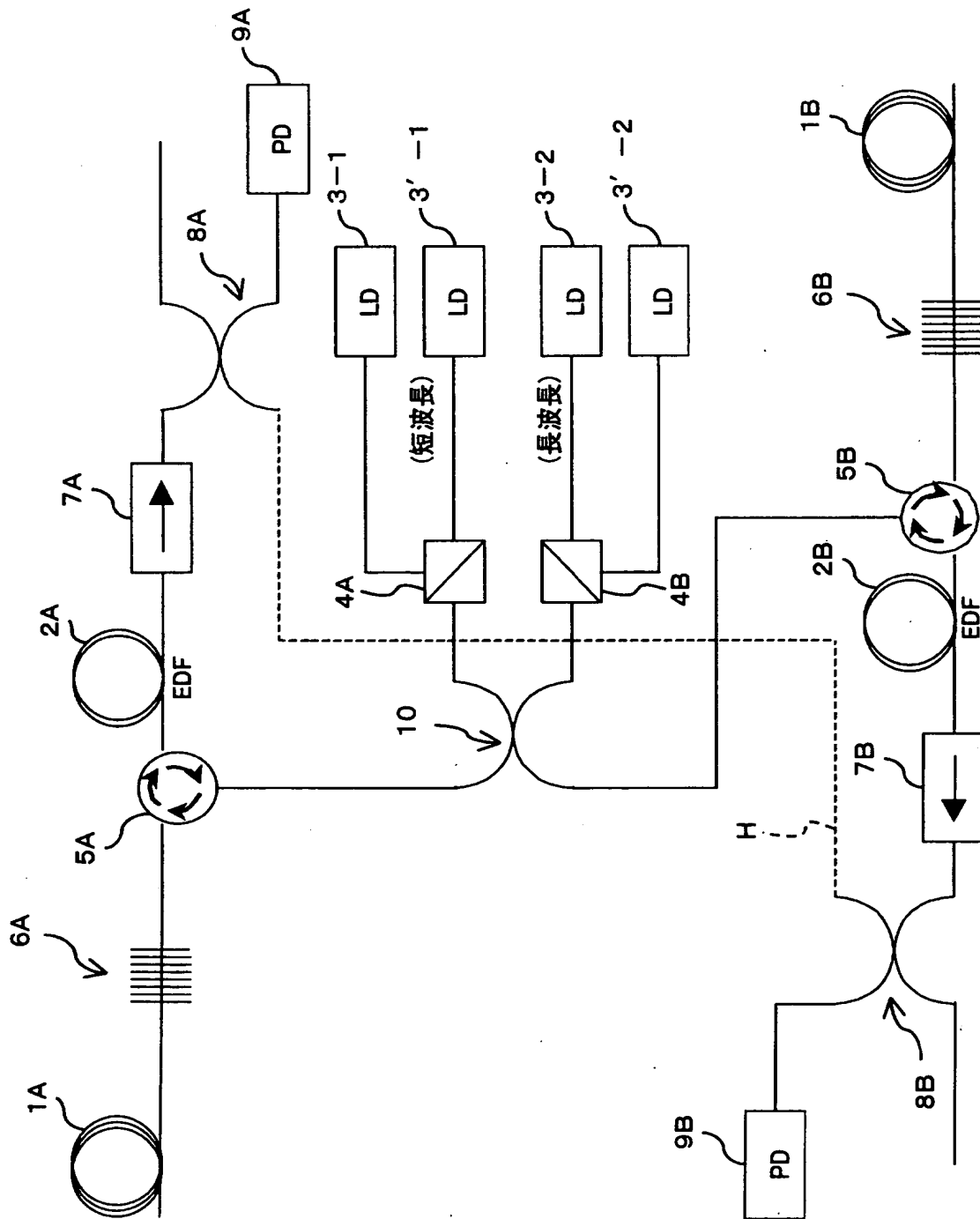
【図 1】



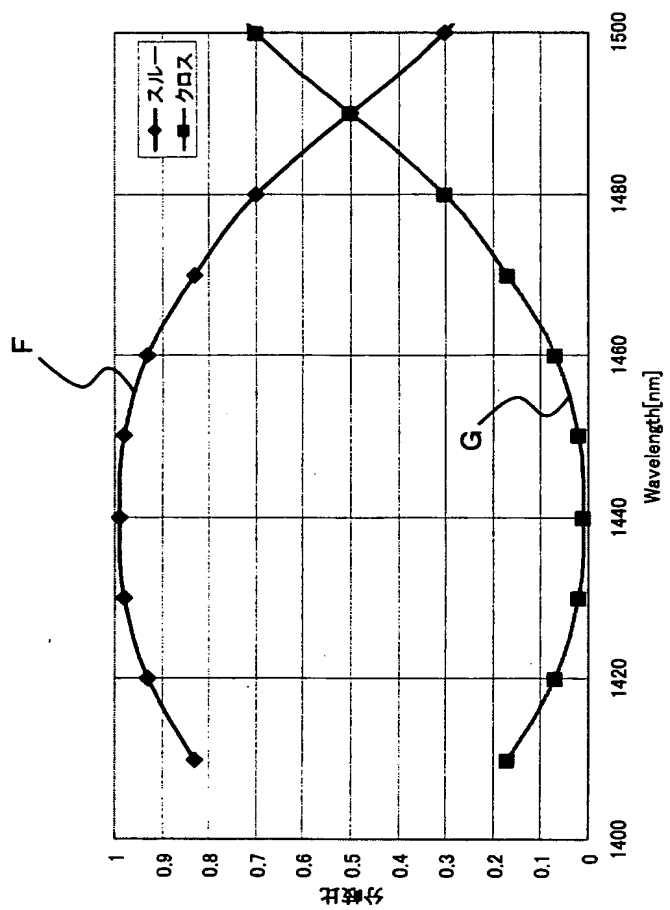
【図 2】



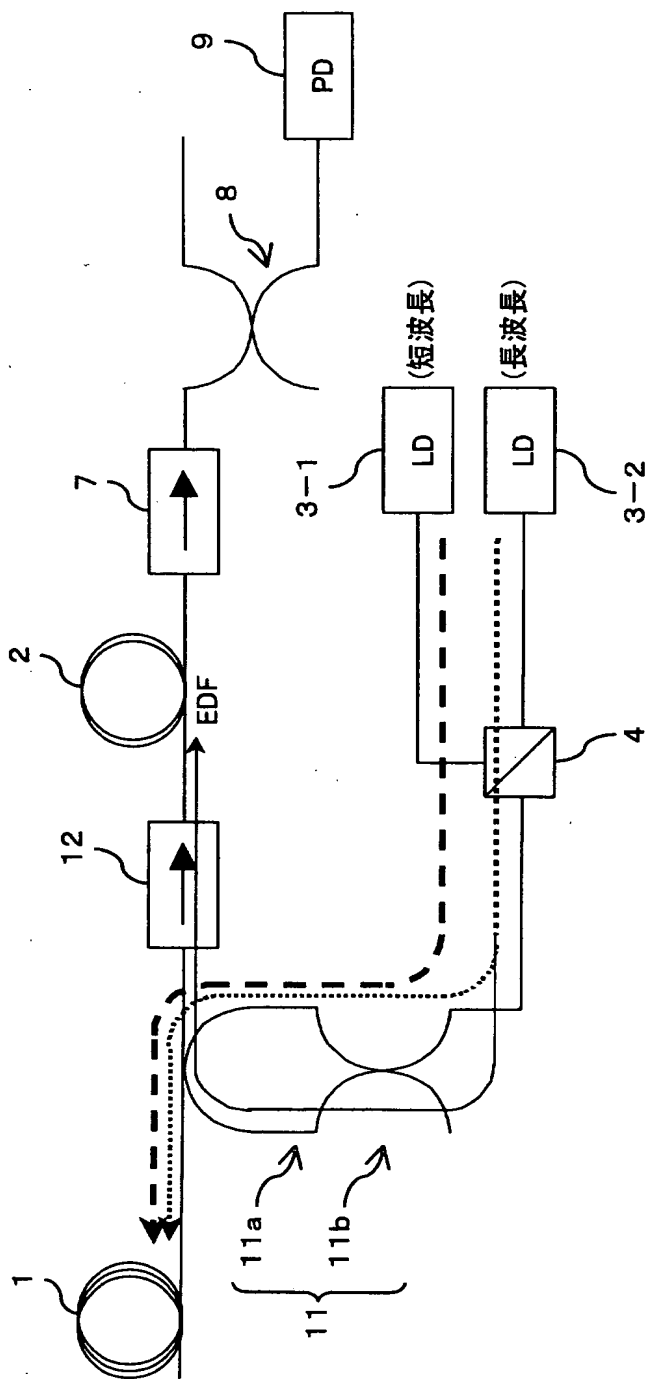
【図 3】



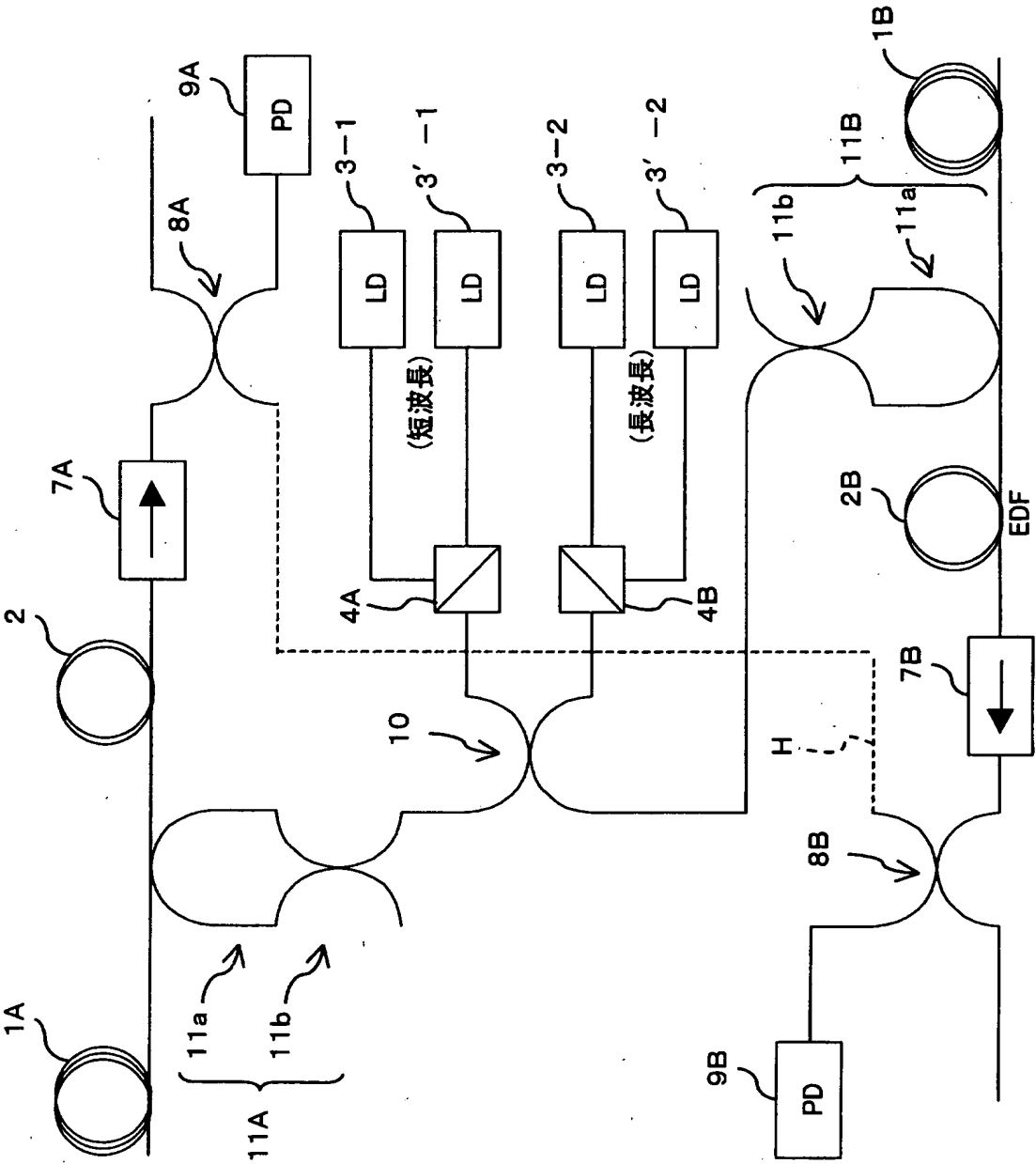
【図 5】



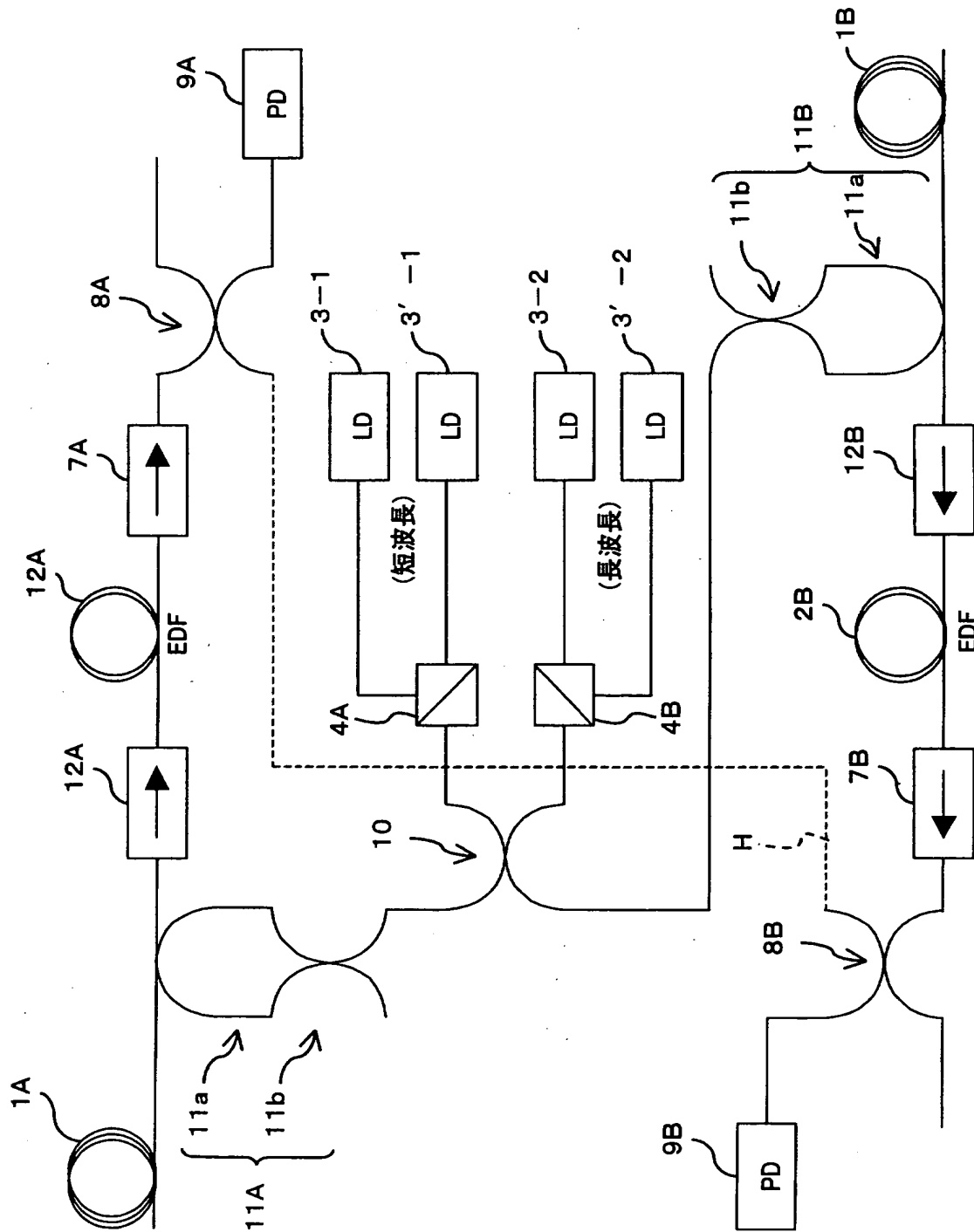
【図 6】



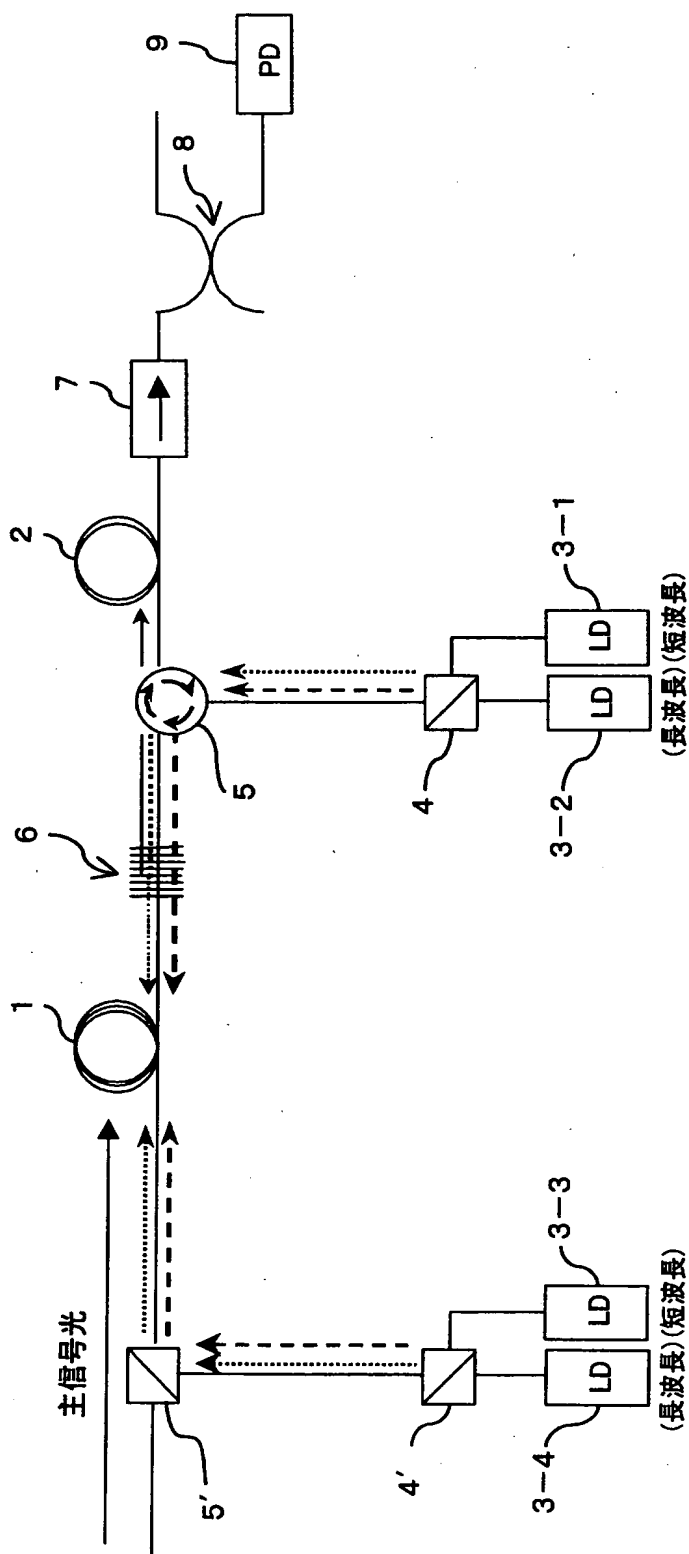
【図 7】



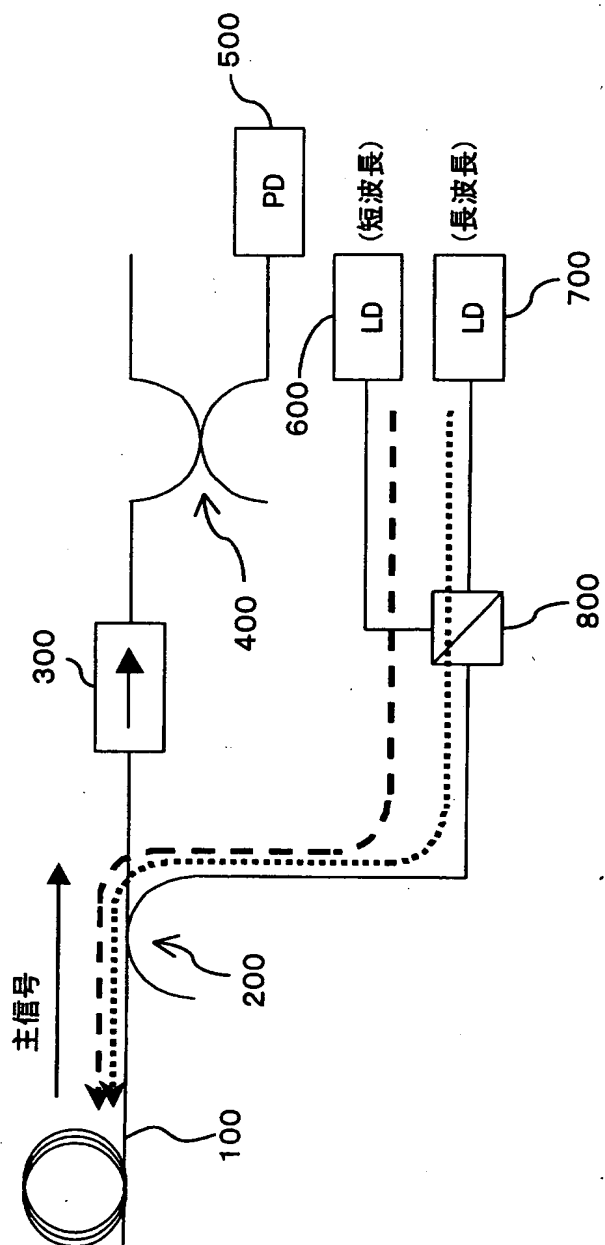
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来よりも小型で、光出力パワーの変動を低減し、且つ、光入力パワーの有無によらずに監視制御情報の送出が容易な、光増幅装置を提供する。

【解決手段】 異なる波長の励起光を生成する複数の励起光源 3-1, 3-2 と、これらの励起光源 3-1, 3-2 からの各励起光を受けて主信号光をその励起光による誘導ラマン散乱現象を用いて増幅するラマン増幅媒体 1 と、このラマン増幅媒体 1 で増幅された主信号光を受けてさらに増幅する希土類添加光増幅媒体 2 と、上記の各励起光のうち特定波長の励起光の一部又は全部を希土類添加光増幅媒体 2 の励起光として希土類添加光増幅媒体 2 へ導入する励起光導入手段 6 とをそなえるように構成する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 2 1 0 7 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 4 日
 [変更理由] 新規登録
 住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番地
 氏 名 富士通株式会社

2. 変更年月日 1 9 9 6 年 3 月 2 6 日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号
 氏 名 富士通株式会社